

序批式生物膜法处理水产养殖废水的研究

万 红¹, 宋碧玉²

(1 武汉科技大学中南分校生命科学院, 湖北 武汉 430223 2 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 目前我国水产养殖废水直接排放的现象较多, 使受纳水体富营养化和生物多样性降低; 同时养殖水体中残饵、水生生物排泄物容易引起水体溶解氧下降, 病原体增加并产生有害物质如氨氮、亚硝酸盐等, 引起养殖对象发病甚至死亡。提出采用以组合填料为载体的序批式生物膜反应器处理水产养殖废水。通过试验确定了最佳运行模式: 水力停留时间 12 h 其中瞬时进水 $\rightarrow$ 厌氧 (3 h) $\rightarrow$ 曝气 (5 h) $\rightarrow$ 添加原水 (添加比 1: 3) $\rightarrow$ 缺氧 (3 h) $\rightarrow$ 曝气 (1 h) $\rightarrow$ 沉淀 (0.5 h) $\rightarrow$ 排水 (0.5 h), 并考察了试验对污染物的去除特性。试验结果表明了序批式生物膜法处理水产养殖废水的可行性, 对有机物、氨氮、TN、TP 的平均去除率分别为 91.1%、85.1%、75.8%、89.5%, 处理后出水可回用于水产养殖。

关键词: 序批式生物膜; 水产养殖废水; 脱氮除磷

中图分类号: X703.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-3075(2008)02-0081-04

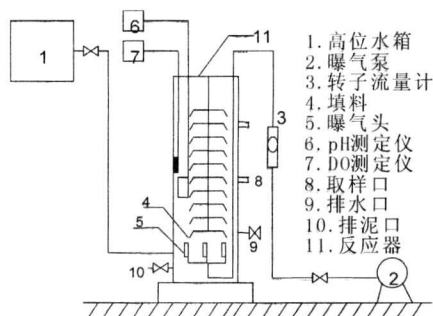
近 20 年来, 集约化水产养殖带来的水质问题主要是以下几种: ①有机物: 养殖水体中的有机物主要由残饵、养殖生物排泄物分解产生, 含量过高会造成水质恶化, 导致鱼类生长缓慢、甚至死亡。②氨氮: 各种水产系统表明以饲料或营养元素形式投加到养殖水体中的氮和磷只有 25.0% 和 17.4% 左右被鱼同化 (侯海涛, 2002)。水体中的氨主要以 NH_4^+ 和非离子化 NH_3 2 种形式存在, 后者毒性更强。当 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度超过 0.5 mg/L 时被认为对鱼有毒害作用 (樊祥国, 2005)。③ $\text{NO}_2\text{-N}$: $\text{NO}_2\text{-N}$ 对鱼类有很强的毒性, $\text{NO}_2\text{-N}$ 把鱼虾血液中的亚铁血红蛋白氧化成高铁亚铁血红蛋白, 而后者不能运载氧气, 从而抑制血液的载氧能力造成组织缺氧, 引起鱼类摄食能力降低甚至死亡。一般鱼类对 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的耐受浓度远低于 1 mg/L (李树国, 2005), 因此应避免它在养殖水体中的积累。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验采用序批式活性污泥法 (SBR) 和生物接触氧化相结合的工艺, 生物膜载体为以塑料环为依托其骨架上负载着维纶丝的组合填料。试验装置见图 1。反应器由有机玻璃制成, 柱内径为 150 mm, 总容积为 11 L, 有效容积 7 L, 其中填料及生物膜所占体

积为 5.5 L, 沉淀池为 1.5 L。曝气泵从填料底部进行曝气, 反应器底部均匀分布 3 个曝气头。根据试验需要选定每 1 个周期总的水力停留时间及进水、厌氧、好氧、沉淀和排泥、排水时间, 各阶段反应时间均由时间程序控制器完成。



Notes 1. high level cistem 2. aeration pump 3. rota meter 4. media 5. aeration heads 6. pH meter 7. DO meter 8. sampling position 9. effluent outlet 10. sludge discharge position; 11. reactor

图 1 序批式生物膜法试验装置示意图

Fig 1 Schematic diagram of the experimental SBBR units

1.2 试验用水

试验用水参照梁子湖区某水产养殖水塘的水质在实验室配制而成。其中 COD_{Cr} 为 200~350 mg/L; TN 为 10~20 mg/L; $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 1~5 mg/L; $\text{NO}_3\text{-N}$ 为 1~5 mg/L; $\text{NO}_2\text{-N}$ 为 0.1 mg/L; TP 为 10~15 mg/L。试验接种污泥为武昌沙湖污水处理厂二沉池的回流污泥。其性状为黑褐色的絮状体, 沉降比 SV_{30} 为 17%, 污泥浓度 400 mg/L。

1.3 最佳运行工艺及参数的确定

1.3.1 SBBR 反应器的启动 污泥培养驯化期间采取的运行方式为: 瞬时进水, 曝气 8 h 沉淀和排水

收稿日期: 2007-10-06

作者简介: 万红, 1976 年生, 女, 湖北武汉人, 讲师, 主要研究方向为水污染控制工程。E-mail: powawh@yahoocn.cn

1 h。2 周后, 填料上有稀薄的菌胶团和大量的游离细菌, 但结合较为疏松。之后调整运行流程为: 瞬时进水, 曝气 6 h 厌氧 3 h 曝气 1 h 沉淀 0.5 h 排泥和排水 0.5 h。该阶段主要是培养驯化硝化菌、反硝化菌和聚磷菌。如此反复约 7 周后发现污泥絮凝状态良好, 混合液悬浮固体浓度为 2 000 mg/L; 测得 COD_{Cr} 和氨氮去除率分别大于 85% 和 80%; 组合填料都已挂膜; 生物相镜检, 生物膜上有较多固着型纤毛虫如钟虫、累枝虫和轮虫、盾形虫等原、后生动物。至此培养与驯化结束, 进入试验研究工作阶段。当废水水质、运行工序发生变化时, 都安排 3~6 d 的适应期。

1.3.2 运行模式 为了在去除有机物的同时, 取得良好的脱氮除磷效果, 本试验工艺运行流程为: 瞬时进水 → 厌氧 → 好氧曝气 → 缺氧 → 好氧曝气 → 沉淀 → 排泥、排水。进水严格采用限制曝气的方式, 同时控制 DO 不超过 0.2 mg/L, 曝气阶段 DO 为 4~8 mg/L, 污泥龄控制在 15 d (Rensink JH et al 1985)。

1.3.3 厌氧时间的初步确定 根据工程经验和近似试验情况将厌氧时间延长至 8 h 测定 TP 和 TN 的变化。由图 2 所示, 磷的释放主要集中在前 3 h 内, TP 平均释放速率为 1.86 mg/(L·h)。之后的 5 h 磷释放现象幅度很小。一般情况下厌氧时间越长聚磷菌对磷的释放越彻底, 好氧阶段对磷的吸收就越充分, 但进水阶段厌氧时间太长, 会使污泥的沉降性能变坏, 出水中 SS 含量升高, 故确定厌氧段所需时间为 3 h。

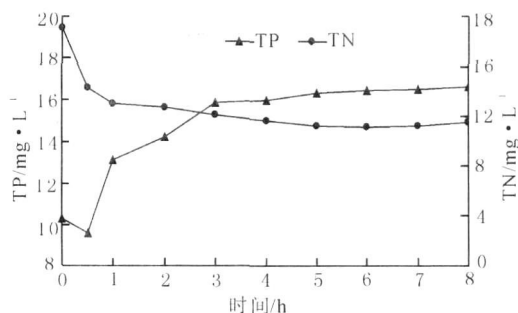


图 2 厌氧 8 h TP、TN 浓度的变化

Fig. 2 Variations of total phosphorus and total nitrogen in anaerobic phase of 8 h

1.3.4 好氧时间的初步确定 为确定好氧时间段, 在厌氧 3 h 后将好氧时间延长到 8 h 并同时测定 COD_{Cr} 、TP、TN、 NH_3-N 、 NO_3-N 的浓度变化。

由图 3 所示, 好氧 3 h 后 COD_{Cr} 已降至 60 mg/L 以下, 所以无法以 COD_{Cr} 作为好氧时间的制约因素。厌氧段磷的平均释放速率为 1.43 mg/(L·h), 好氧

4 h 后磷的平均吸收速率为 3.04 mg/(L·h), 溶液中 TP 浓度降至 2 mg/L 以下。由图 4 可知, 氨氮在好氧段发生硝化反应, 5 h 后浓度降至 0.59 mg/L 以下, NO_3-N 浓度好氧 5 h 几乎没有增长, 表明硝化基本完成。综合考虑将好氧时间确定为 5 h。

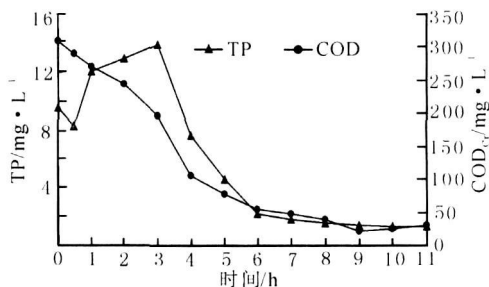


图 3 厌氧 3 h 好氧 8 h 内 TP 和 COD_{Cr} 变化曲线

Fig. 3 Variations of total phosphorus and COD_{Cr} in a aerobic phase of 8 h following anaerobic phase of 3 h

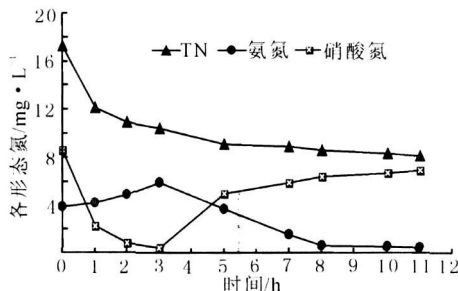


图 4 厌氧 3 h 好氧 8 h 内氮的变化曲线

Fig. 4 Variations of total nitrogen, ammonia and nitrate in aerobic phase of 8 h following anaerobic phase of 3 h

1.3.5 缺氧时间的初步确定 缺氧段主要发生反硝化反应, 使得硝酸氮转化为气态氮。本试验在厌氧 3 h 好氧 5 h 后将缺氧时间延长至 4 h 稳定运行 1 周后测定各项指标。由图 5 图 6 所示: NO_3-N 在缺氧段的前 2 h 内反硝化速率较大; COD_{Cr} 在好氧阶段有很高的去除率; 缺氧段第 4 小时内 TP 浓度略有上升, 在缺氧段的后 2 h 内 COD_{Cr} 浓度也有一定的升高, 可能是缺氧时间过长生物膜老化脱落造成 TP 和 COD_{Cr} 浓度的回升。

通过以上分析可知, 将缺氧时间确定为 3 h 比较合适。考虑到经缺氧段后, 反应器中 COD_{Cr} 和 TP 浓度较低, 初步将二次好氧曝气时间确定为 1 h。

1.3.6 缺氧段原水添加比的确定 对于组合填料序批式生物膜法仅靠内源脱氮会影响脱氮效率, 必须在缺氧段添加外部碳源。为确定最佳添加比 (缺氧段添加原水量占反应器中已有混合液的比值), 分别做了添加比为 1:1、1:2、1:3、1:4 的对比试

验, 并调整运行模式:

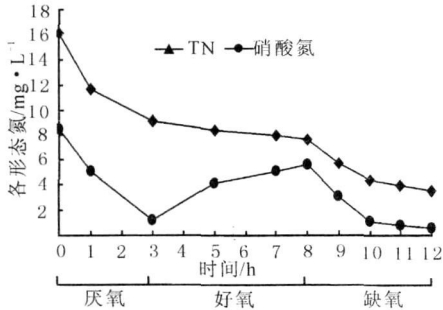
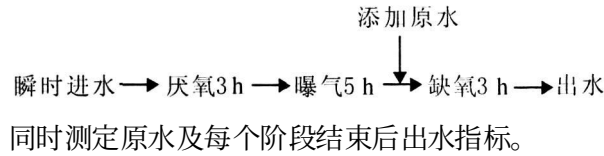


图5 缺氧4 h内总氮和硝酸氮的变化
Fig.5 Variations of total nitrogen and nitrate in anoxic phase of 4 h

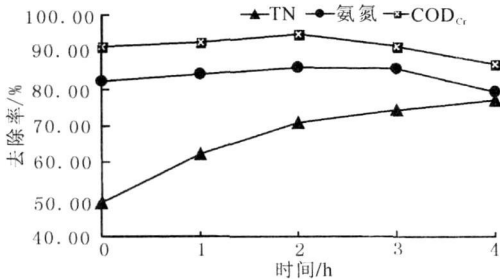
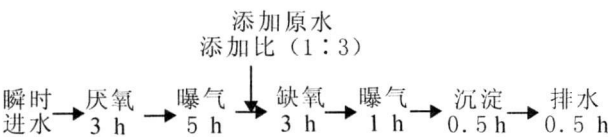


图6 缺氧4 h内 TN、TP、COD_{Cr}去除率变化
Fig.6 Variations of total nitrogen, total phosphorus and COD_{Cr} in anoxic phase of 4 h

由图 7 图 8 可知, 在添加比为 1: 1、1: 2、1: 3 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 几乎全部被去除。随着添加比的降低, $\text{COD} / \text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的去除率也降低。添加比为 1: 3 和 1: 4 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除率分别为 93.8% 和 79.1%, 出水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度分别为 0.76 mg/L 和 3.2 mg/L, 可能是缺氧段有机物浓度较低影响硝酸氮的反硝化反应。但添加比过高时会使出水中氨氮、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 TP 的浓度升高。同时如果进水的 C/N 过高, 污水中由于营养充分而大量繁殖的异养菌会与硝化菌竞争底物和溶解氧, 抑制硝化菌的活性和生长, 从而导致生物膜微生物中硝化菌的比例越来越低以致影响到硝化反应的进行。因此确定合适的添加比为 1: 3。此后运行模式调整为



按最佳工艺模式运行 15 d 测定了每天进出水中

COD、TP、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度, 同时在稳定运行 15 d 后, 测定了 1 个周期内 COD、TP、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 等指标的浓度变化。

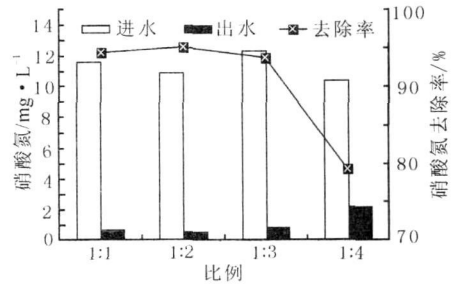


图7 不同添加比时硝酸氮去除率
Fig.7 Nitrate removal rate between different add rate

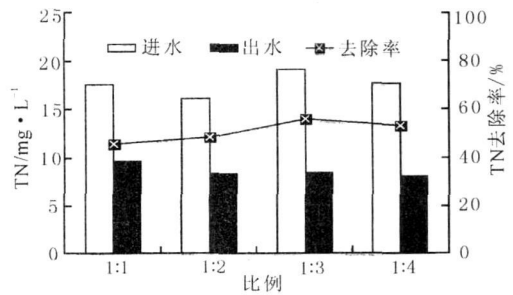


图8 不同添加比时总氮去除率
Fig.8 Total nitrogen removal rate between different add rate

2 结果与分析

由图 9 可知, 进水 COD_{Cr} 在 200~ 350 mg/L 波动, 出水 COD_{Cr} 平均值小于 40 mg/L。图 10 表示了 1 个周期内 TN、氨氮和硝酸氮浓度的变化过程。好氧初期氨氮的硝化速率较大, 硝酸氮从 1.6 mg/L 上升到 5.6 mg/L, 氨氮下降到 0.45 mg/L, 表明硝化基本完成。好氧段总的脱氮率达 54.8%, 好氧段脱氮可能是因为生物膜中存在好氧生物膜层与兼性生物膜层, 在深层的兼性生物膜中存在反硝化细菌, 它们利用生物膜在厌氧段过量储存的有机物作为碳源将好氧生物膜层中产生的硝态氮转化为氮气。近几年有不少试验证明存在同步硝化与反硝化现象 (Hyungseok Yoo & Kyu-Hong Ahn, 1999)。

在好氧阶段添加原水后进入缺氧阶段, TN、氨氮和硝酸氮浓度均有一定的升高。在缺氧的条件下, 反硝化菌以硝酸盐氮为电子受体, 以有机物为电子供体进行厌氧呼吸, 将硝酸盐氮还原为气态氮, 同时降解有机物。缺氧 3 h 后, 硝酸氮、氨氮、TN 浓度分别降至 0.92、0.71、4.70 mg/L, 反硝化反应基本完成。缺氧结束后继续曝气 1 h, 出水中 COD、硝酸

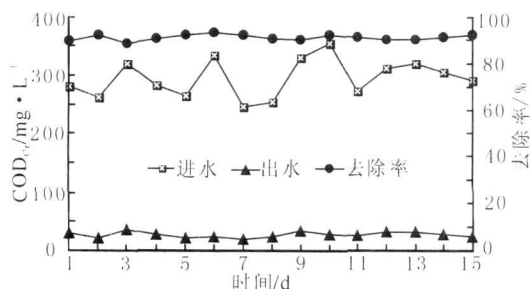
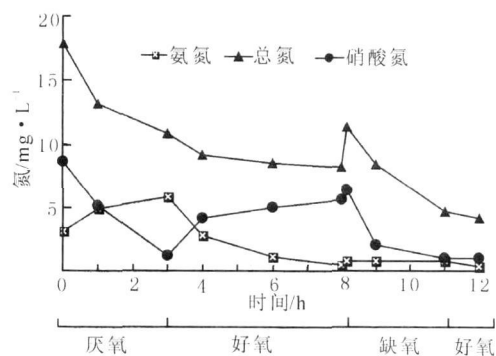
图 9 最佳工况运行期间 COD_{Cr} 变化曲线Fig. 9 Curves of COD_{Cr} variation in the optimum process

图 10 1 个周期各形态氮变化

Fig. 10 Variations of various forms of nitrogen during one cycle

氮、氨氮、TN 浓度分别为 22.0、9.0、31.4 mg/L, 且出水中未监测出亚硝酸氮。可见, 序批式

生物膜法对氮有很好的去除效果, 各形态氮出水浓度均达到《污水综合排放标准》一级标准, 且氨氮浓度降到 0.5 mg/L 以下, 不会对鱼类产生毒害作用。

3 结论

试验结果表明了组合填料序批式生物膜法处理水产养殖废水的可行性, 对有机物、氨氮、TN、TP 的平均去除率分别为 91.1%、85.1%、75.8%、89.5%, 处理后出水可回用于水产养殖, 其中有机物、氨氮、TN 浓度达到国家《污水综合排放标准》的一级标准, TP 浓度达到二级标准。

参考文献:

- 樊祥国. 2005. 2004 年水产养殖形势分析及 2005 年发展趋势 [J]. 中国水产, (1): 14-15.
- 李树国. 2005. 内陆水产养殖的水域污染及其防治对策 [J]. 水产科学, 24(3): 34-35.
- 侯海涛. 2002. 美国水产养殖概况 [J]. 科学养鱼, (5): 17.
- Hyungseok Yoo, Kyu-Hong Ahn. 1999. Nitrogen removal from synthetic waste water by simultaneous nitrification and Denitrification (SND) via nitrite in an intermittently-aerated reactor [J]. Wat Res, 33(1): 145-154.
- Rensink JH, et al. 1985. Phosphorous Removal at low sludge loadings [J]. Wat SciTech, 17(11-12): 177-186.

(责任编辑 杨春艳)

Study on Aquacultural Wastewater Treatment by Sequencing Batch Biofilm Reactor

WAN Hong¹, SONG Biyu²

(1. Life and Science School of Wuhan University of Science and Technology
and Zhongnan Branch, Wuhan 430223, China)

2. School of Resource & Environment Science of Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract The discharge of aquacultural wastewater before treatment was common in China, which induced eutrophication of receiving water bodies and decline in biodiversity. At the same time, residual feed, excreta and debris easily cause depletion of dissolved oxygen and accumulation of harmful substance such as ammonia and nitrite that bring about the illness or even the death of aquaculture object. The method of Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) with combined plastic media was put forward in this paper. The suitable flow process was established through experiment. Retention time was 12 hours, including 3 hours in anaerobic phase, 5 hours in aerobic phase, 3 hours in anoxic phase and 1 hour in the second aerobic phase. The study results showed that SBBR was effective in contaminant removal. The average removal efficiency of COD_{Cr} , NH_3-N , TN and TP was 91.1%, 85.1%, 75.8% and 89.5% respectively, and the effluent could be reused in aquaculture.

Key words sequencing batch biofilm reactor; aquacultural wastewater; nitrogen and phosphorous removal